

LOS MAPAS GEOLÓGICOS DEL ECUADOR

PROBLEMAS IMPORTANTES RELACIONADOS CON ELLOS



P. Alberto D. Semanate, O. P.

1934

P. Alberto D. Semanate, O. P.,
de la Sociedad Geológica de París

LOS MAPAS GEOLÓGICOS DEL ECUADOR

PROBLEMAS IMPORTANTES RELACIONADOS CON ELLOS



QUITO — 1934
Editorial de "Santo Domingo"

CONTENIDO

I. — LA INGENIERÍA Y LA AGRICULTURA

1. Las cartas topográficas del S. G. M. nos redimen de un justo reproche

Cuando la Dirección del Servicio Geográfico Militar tuvo la gentileza de enviarnos las nueve primeras hojas consagradas al levantamiento topográfico hecho en la provincia del Chimborazo, no pudimos reprimir un doble sentimiento de admiración y de orgullo, al contemplar aquellas hojas que condensaban en sus artísticas curvas de nivel toda una epopeya de ciencia, de abnegación, de arte insuperable que desde años atrás nos están dando día a día los ejemplarísimos Militares del Servicio Geográfico Ecuatoriano. Digo, desde luego, de orgullo, porque esta obra nos redime del justo reproche que las naciones del Mundo Científico enderezan a la Institución Superior de nuestro país. Aun incluyendo los trabajos originales de uno que otro laborioso médico, de uno que otro químico, amigo de la investigación, el caudal científico original que aporta nuestro país al inmenso océano de descubrimientos en Ciencias Exactas y Naturales, no es ciertamente un Amazonas, ni mucho menos. Fue también de admiración, ¿Cómo no admirar, en efecto, que las fatales leyes de la inercia que rigen con su pesado mecanismo la innata pereza del ecuatoriano, hayan sufrido un mentís redondo esta vez? Sólo quienes trabajan asiduamente en las soledades y en los yermos, agarrotados pies y manos por el frío de las alturas; casi cortado el aliento por los vientos helados y procelosos de las cumbres andinas; quienes han pasado meses, perdidos allá en las inhospitalarias breñas de la cordillera, oyendo rugir una tempestad de nieves y de granizo en las endebles tiendas y sintiendo otra tempestad de hambres y de sedes allá dentro del cuerpo, sólo ellos podrán aquilatar el mérito de quienes hacen el servicio geodésico y topográfico del país en medio de la indiferencia y estoicismo de sus dichosos compatriotas.

2. Caudales de abnegación y de Ciencia que ellas nos revelan

Hay otros méritos más que no debemos pasar por alto: los de la Ciencia. Y es que una hoja topográfica condensa en sus curvas no sólo los resultados de cálculos geodésicos, de triangulaciones grandes y pequeñas de un conocimiento detallado del relieve terrestre adquirido por el hábil manejo de numerosos aparatos de Topografía, sino también amplios conocimientos de Ciencias Físicas principiando por la Astronomía y terminando en la Geología.

Y sin embargo de ser las cartas topográficas del Servicio Geográfico Militar un monumento a la Ciencia Nacional, nos atrevemos a decir que esas hojas están pidiendo un complemento obligado, sin el cual no pueden rendir todo el servicio que de ellas debemos exigir.

Las cartas topográficas a pesar de su precisión, a pesar de la ciencia y del arte que ellas atestiguan, serán cartas truncas mientras no se cree juntamente con ellas, simultáneamente con ellas, *las cartas geológicas del Ecuador*.

3. Complemento obligado de ellas: los mapas geológicos
Carácter transeúnte de los mapas topográficos

Los mapas geológicos son con respecto a las cartas topográficas, lo que es la naturaleza intrínseca, con respecto a los rasgos extrínsecos de la fisonomía, lo que la realidad oculta respecto a las apariencias y, refiriéndonos al carácter mutable del relieve terrestre, lo que es lo durable y permanente respecto a lo efímero y transeúnte.

La finalidad de un mapa geográfico es la representación fiel del relieve exterior de la corteza del Globo; de modo que mientras más fiel es la representación, más perfecto es el mapa. El carácter de su duración efímera aquí tiene su raíz, porque siendo el aspecto exterior de la corteza víctima perenne de la acción destructora del clima y de la lluvia, de los agentes dinámicos internos y externos, este aspecto exterior va cambiando día a día de tal suerte que un mapa geográfico elaborado hoy con toda la precisión concienzuda de los métodos modernos, al cabo de unas pocas centurias, será apenas *un documento histórico del pasado de la Tierra*. Pero aún en el supuesto de que tuviese rasgos bien duraderos, una carta geográfica no nos enseña absolutamente nada de la constitución íntima de esa misma corteza, cuya fisonomía tan bien pinta y describe, ni mucho menos nos revela lo que no pueden ver los ojos, los misterios del subsuelo y de las entrañas de la Tierra.

4. Lo que son estos comparados con los topográficos

He aquí precisamente lo que hace el mapa geológico. Así como el topógrafo va trazando las curvas de nivel, así también el geólogo va señalando las curvas caprichosas que limitan las capas sedimentarias de las diferentes épocas geológicas, dividiendo y subdividiendo los pisos bajo la dirección de reglas fijadas por la Paleontología; figurando con vistosas tintas las diversas rocas cristalinas, volcánicas y de profundidad; señalando los accidentes tectónicos, fallas, repliegues, zonas de dislocación en las cordilleras y fuera de ellas; localizando los filones, las aguas termales, los lavaderos auríferos, etc., etc.; y todo esto lo hace tras observaciones múltiples en el terreno y minuciosos exámenes en el laboratorio de Petrografía, de Paleontología, de Química, de Microfotografía, etc.

¿Cuál es el provecho que pueda sacar el país de los tales mapas geológicos? Será la pregunta obligada de los lectores de este artículo. Desde luego el de la Ciencia cuyo eco repercutirá en los Centros civilizados y sabios con gran honor del país. Desgraciadamente esta ventaja no se cotiza en el mercado, ni puede pesar *inmediatamente* en la balanza del comercio interno o externo. Pero hay otro aspecto en ellos que, sí interesará a banqueros y comerciantes, es el económico que reclaman para sí los mapas geológicos, pretensión que no pueden tener las cartas geográficas y topográficas.

5. El ingeniero necesita urgentemente los mapas geológicos
Errores que puede cometer cuando no está asesorado por un geólogo

Las necesitan los ingenieros para abrir caminos, levantar edificios que, exigiendo un mínimo de costo, ofrezcan garantías de mayor duración. No tenemos que ir muy lejos para topar con un camino cuya localización no debió ciertamente aconsejarla un geólogo concienzudo. Me refiero al de Baños, en la provincia del Tungurahua, desde las Juntas hasta el pueblo. Quienes lo trazaron, escogieron la orilla izquierda del Pastaza, primero porque por allí pasaba el antiguo camino cuya trocha fue utilizada en algunos puntos; segundo porque el trabajo en las rocas pizarrosas de esa orilla ofrecía menos dificultades que la embestida a la andesita basáltica de la ribera opuesta. Entretanto, el carácter deleznable de aquellas esquistas, casi suspendidas sobre el abismo pegadas la una a la otra por una capa de arcilla, como dijéramos por una capa de jabón; el carácter esencialmente friable de las pizarras arcillosas que se alzan perpendicularmente al camino en el famoso «Arrayán», notas todas que un geólogo las habría señalado al momento como desventajosas a la apertura del camino en ese lado, no las recogió el ingeniero que ciertamente no procedió como geólogo. La orilla derecha, por el contrario, hecha de andesita dura y compacta, si bien al principio habría necesitado cortes terribles, como el valiente del «Castrejón» ofrecía solidísima mesa para un camino que habría desafiado a los siglos y a las intemperies todas de los trópicos y ahorrado así las sumas considerables botadas, *sí, botadas*, en los puentes de las Juntas, de Lligua y de San Martín.

En un mapa geológico, el ingeniero que recibió siquiera una mediana preparación geológica universitaria, podrá descubrir las regiones de *fallas* tan inseguras y delicadas para rutas y caminos; sin hacer sondajes, podrá adivinar qué terrenos va a encontrar a 20 y 40 metros de profundidad, si serán hechos de arcilla, o de arena, o de rocas compactas, etc. Ese mismo mapa le enseñará a seguir la ruta misteriosa, porque es oculta, que toma tal material de construcción, roca caliza, mármoles, roca volcánica, etc. Si es hidrólogo verá a qué nivel se puede encontrar el agua en los terrenos secos, si al hacer una perforación tendrá una fuente saltante o simplemente un manantial de agua dormida. Si alguna vez le encomiendan el trabajo de un túnel, desafiará valientemente la empresa gracias al mapa geológico porque él le dará a conocer la serie de rocas que topará en la perforación y, por consiguiente, él le pondrá en el rumbo del presupuesto verdadero *único* porque es el *único* científico.

6. Los mapas geológicos y la Agricultura

Veamos ahora las ventajas que reportan a la Agricultura los mapas geológicos. Si la Agricultura, para sostenerse, para desarrollarse, para no morir de inanición, necesita de los auxilios, de los consejos, de las experiencias de la Geología, es claro que la Agricultura deberá reclamar para su mesa de estudio todos los mapas geológicos del país.

Los factores de la Agricultura son de una especie triple, meteorológicos, geológicos y fisiológico-químicos. Tendríamos para un libro y no para un artículo si quisiéramos ocuparnos de todos ellos. No es ni nuestra pretensión, ni nuestro objetivo; consideraciones sobre los mismos factores geológicos y químicos no podrán ocupar sino los límites de un artículo de *divulgación científica* como es éste.

A la *tierra vegetal*, madre y sostén de la vegetación, podríamos definir: es la capa superficial de la corteza terrestre, constituida por elementos movibles orgánicos y minerales[1]. Ocupémonos de ambos.

El principio, guía de este estudio y que, a pesar de su aparente vulgaridad, es la base de toda investigación seria en Agronomía, es que el reino vegetal es un reino de seres que viven, de seres que nacen y se desarrollan en un medio apropiado, degeneran y mueren de inanición en un medio inadecuado a la constitución fisiológica de ellos. Su vida es, pues, una función del suelo en que hunden sus raíces, del cual dependen casi en lo absoluto.

Los alimentos de las plantas son los siguientes: carbono y oxígeno que toman del aire en forma de anhídrido carbónico el primero y en forma libre o combinada el segundo; hidrógeno que lo toman del agua; nitrógeno, fósforo, potasio y calcio que lo toman del suelo y también del aire si nos referimos al nitrógeno.

7. El mecanismo de nitrificación

Durante mucho tiempo los problemas suscitados por el último metaloide en los fenómenos agronómicos, fueron un misterio; ahora el velo que los cubría está casi totalmente descorrido gracias a las investigaciones de numerosos químicos y geólogos de los países europeos y norteamericanos. Por ellas se sabe que las materias orgánicas, uno de cuyos componentes es el nitrógeno que en ellas se encuentra en condiciones complejas, están sometidas a una acción oxidante provocada por un microbio que las nitrifica y que por eso se apellida microbio o bacteria nitrificante. Con sus materias orgánicas, contiene el suelo bacterias que pertenecen a diversos grupos: las hay *anaerobias*[2] fijadoras de nitrógeno (*Clostridium*); las hay *aerobias* con las mismas propiedades (*Azotobacter*), y protozoarios que parecen ser antagónicos de las bacterias nitrificantes.

Efecto de su actividad es la producción constante en el suelo de fenómenos de combustión lenta con absorción de oxígeno y desprendimiento de ácido carbónico. El calor producido por la reducción de materias orgánicas del suelo es el que se obtendría con la combustión de aquellas materias, pero con un desprendimiento de calor más lento y, por lo tanto, más duradero. «J. Stoklassa ha calculado que un kilogramo de tierra vegetal produce 100 a 130 miligramos de anhídrido carbónico en 24 horas. Así que, los mejores suelos desde el punto de vista agrícola están caracterizados por una grande actividad biológica y por una gran producción de ácido carbónico[3]».

Parte de los nitratos producidos por las bacterias queda en el suelo para ser absorbida por las plantas, y parte, disuelta por el agua de circulación superficial, es arrastrada al océano. De aquí la presencia de ácido nítrico y de amoniaco en el agua de los mares. En estos, por ser un medio ambiente poco oxigenado, se realiza un fenómeno inverso de fermentación: los organismos transforman el ácido nítrico en amoniaco, gas que desprendiéndose de las aguas, va a incorporarse al aire con cuyo nitrógeno contribuirá al alimento de la vegetación.

[1] Cf. Géographie Physique par Emm. De Martonne, v. III Armand Colin, Paris, 1928.

[2] Anaerobias significa que pueden vivir sin aire; aerobias, que necesitan aire para su vida.

[3] Emmanuel de Martonne, idem, págs. 1151 y 1152

En cien unidades de peso, el aire contiene 79 de nitrógeno que lo pueden asimilar tras diversas reacciones siendo la principal de ellas la provocada por la actividad de los organismos microscópicos.

M. Berthelot demostró que estos organismos pueden fijar directamente el nitrógeno del aire y producir de 16 a 52 kilogramos por hectárea y en un año[4]. La actividad de ellos se hace más notable con la presencia de las plantas *leguminosas* (Trébol, Altramuz, vulgarmente llamado *chocho*, Alfalfa, etc.) que con sus raíces nodosas ofrecen fácil desarrollo a las bacterias fijadoras del nitrógeno gaseoso. He aquí por qué, guiada sólo por la experiencia, desde tiempo inmemorial, la tradición agronómica ha querido siempre la siembra del *chocho* o altramuz en los terrenos estériles a fin de fertilizarlos.

Para que el fenómeno de la nitrificación tenga plena eficacia, es necesario que el terreno llene tres condiciones: primera que sea húmedo; las tierras demasiado arcillosas que se resisten a la penetración del agua son menos aptas para esto que las tierras compuestas de elementos gruesos, cual son aquellas que contienen conjuntamente arena y arcilla. Muy luego veremos otro inconveniente de los suelos muy arcillosos. Segunda que permitan la penetración del aire, pues, hemos visto que la nitrificación es un efecto concomitante y subsiguiente de la oxidación. También esta condición es desfavorable a los suelos en extremo arcillosos. Tercera, que la temperatura del suelo no sea ni inferior a 5 grados ni superior a 55 grados centígrados.

8. Las clases de humus

El suelo vegetal está también integrado por aquel elemento que llamamos *humus*, formado por los residuos que dejan los organismos que viven en el subsuelo: raíces, bacterias y animales. Unos tienen reacción ácida y son tóxicos para las plantas. Se forman en los terrenos en donde el aire penetra difícilmente y en los que las bacterias nitrificantes no pueden vivir; allí las plantas están hambrientas de nitrógeno. Los turbales y terrenos pantanosos son un ejemplo de suelos con *humus* de reacción ácida. Digamos de una vez que la acidez de tales suelos debe ser neutralizada por una base siendo la *cal* la más apropiada, y que se los debe disecar dando salida al agua del estancamiento. Hay otros *humus* neutros que se desarrollan en los suelos no excesivamente húmedos y de reacción alcalina, en los terrenos mejorados por el abono verde o animal. Aquí la nitrificación es muy activa.

El *humus*, cuya presencia en el suelo es necesaria a la vida de las plantas, no puede ser útil sino en presencia de rocas calizas. Sólo en los suelos alcalinos, es decir, más o menos calcáreos es en donde el nitrógeno del *humus* que representa el 3 por ciento de su peso, podrá cambiarse en amoniaco y últimamente en ácido nítrico asimilable. De igual suerte el carbono, que representa hasta el 59 por ciento del peso del *humus*, no dará ácido carbónico utilizable sino como consecuencia de reacciones complejas que, para realizarse, exigen un suelo suficientemente alcalino[5].

[4] M. Berthelot: Comptes Rendus de l'Acad. des Sciences, 26 Octobre 1885. Citado por L. de Launay en su obra «Géologie pratique» pág. 113.

[5] Cf. Géographie Physique par idem, ibidem.

9. Clasificación de los suelos

Veamos ahora la clasificación de los suelos. Es más difícil hacerlo en Agricultura que en Geología. De un modo clasificará el ruso los suelos de la Siberia, y de otro modo el agricultor en los Trópicos. En todo caso, cualquiera que sea la clasificación agrícola, el fundamento de ella será la composición del suelo, es decir, que tal fundamento no lo tendrá sino de la Petrografía, o lo que es lo mismo, de la Geología. Nos vamos a detener en la descripción de tres clases de terrenos, y para simplificar nuestro estudio, los consideraremos homogéneos, consideración teórica desde luego. Los terrenos que caen bajo nuestra experiencia, son siempre una mezcla más o menos heterogénea de los tres que vamos a describir, aunque siempre domina uno de ellos.

Primero. — Un *terreno es arenoso* cuando dominan en él los elementos gruesos, producto de la descomposición de las rocas granosas, tales como el granito y la diorita. El elemento esencial en él es la sílice. En nuestras regiones, tan caracterizadas por la presencia constante de la *andesita* en la Cordillera, otro componente indispensable es la *magnetita*, conocida vulgarmente con el nombre de *arenilla*, residuo de la descomposición de aquella roca. Esta clase de terrenos son de fácil laboreo, ofrecen penetración al aire, pero conservan muy poco la humedad.

Cuando el terreno arenoso proviene de un granito descompuesto, es entonces rico en *potasa* y pobre en *cal* y en *fósforo*.

Segundo. — Los terrenos arcillosos, como su nombre lo indica tienen por elemento dominante la arcilla o alúmina casi siempre impura debido a los óxidos de hierro que le dan un tono más o menos rojizo. Es el resultado de la descomposición de todas las rocas que contienen *alúmina* y que han sufrido la acción disolvente de los agentes atmosféricos. En el Ecuador, esos terrenos son frecuentes, tanto en la Cordillera ya que la cangahua — y esta roca clástica es ante todo arcillosa —, si bien puede también provenir de la acumulación de las *tobas volcánicas*, el origen principal de ella es la descomposición más o menos completa de las andesitas; como en los niveles más bajos, descendiendo hacia el mar. En las zonas tropicales la *laterita*, muy lavada ya de todas las *bases*, es mal terreno para la Agricultura. Cuando visitada por las lluvias se convierte en un limo fino y resbaladizo; y cuando exento de lluvia en un suelo duro y resquebrajado.

Tercero. — Los *terrenos calcáreos* tienen por composición dominante el *carbonato de cal*. Un terreno calcáreo puro, es pésimo para la agricultura. Conserva mal la humedad porque, atacado poderosamente por el anhídrido carbónico disuelto en la lluvia, deja que ésta le abra subterráneos túneles y grietas internas de maravilloso efecto artístico, y esa lluvia en vez de penetrar poco a poco en la roca va a resurgir en niveles inferiores pasando por ríos y lagos subterráneos. Sólo en algunas cuencas aisladas y pequeñas, en las que se ha acumulado la arcilla de *descalcificación* se puede obtener un terreno agrícola de muy mediano valor para la siembra. Su dureza y consistencia, por otra parte, le hacen imposible para el trabajo de agricultura, siendo preciso cortar a pico las rocas calcáreas o hacerlas saltar con dinamita. Pero cuando los agentes atmosféricos las han atacado durante largo tiempo y la han cubierto con un suelo movible arcilloso; cuando el humus propio de los trópicos se ha sumado a ellos, entonces tales rocas pueden ofrecer, como vimos ya anteriormente, terrenos fertilísimos y maravillosamente aptos para la agricultura. Tal nos parece ser la causa de la gran fertilidad de la región de Arapicos en nuestro Oriente, entre el Pastaza y el Palora.

Los terrenos descritos son *suelos tipos* que no existen en la naturaleza, volvemos a repetirlo, en toda su pureza. Los que encontramos son una combinación de ellos, predominando en unos el elemento ácido y en otros el alcalino.

10. Conclusión

El problema de la Agricultura se reduce, sobre todo, a conocer el terreno y a conocer los alimentos dominantes de las plantas que uno se propone cultivar. Sobre uno y otro tiene dominio, o puede al menos tenerlo, el agricultor.

Conociendo el suelo, sabe los elementos que en él existen y cuáles no; sabe de antemano por la experiencia o la instrucción, o al menos tiene la obligación de saberlo, qué alimentos son del trigo, de la caña, de la patata, de las leguminosas, etc.; puede por lo tanto dar al suelo lo que le falta mediante abonos animales o abonos químicos[6].

Un mapa geológico bien trazado, aunque por principio debe prescindir del terreno vegetal, tiene necesariamente que figurar el suelo que lo sostiene; y como el terreno vegetal es el producto no sólo de las materias orgánicas sino también de los elementos minerales de aquel, según vimos anteriormente, un agricultor al consultar una carta geológica puede darse cuenta inmediata del terreno que se ofrece a la vista, puede juzgarle en su mesa de estudio aún antes de que lo conozca allá en el interior de las serranías o en la profundidad de las selvas.

[6] Por ejemplo, el *nitrógeno* es el alimento dominante de la remolacha, de las coles, de las zanahorias rojas, del trigo, del centeno, de la avena, del arroz; el *fósforo* lo es del maíz, de la caña; la *potasa* lo es de la patata, del trébol, de la alfalfa, del fréjol, de la vid, etc.

II. — LOS YACIMIENTOS METALÍFEROS

En el presente artículo de divulgación geológica consagrado a los yacimientos metalíferos trataremos de ser en lo posible, claros y concisos. Por elemental que sea este estudio, y a pesar de nuestro sincero deseo de evitar tecnicismos, que tan fastidiosos son para la generalidad de los lectores, nos va a ser forzoso emplearlos una que otra vez; pero, al hacerlo, trataremos de explicarlos ya sea definiéndolos, ya sea acudiendo a algún ejemplo familiar al alcance de la mayoría de nuestros lectores. Pedida la venia de ellos entramos en materia. Nos ocuparemos: 1° del origen de los yacimientos metalíferos o minas; 2° de su clasificación; 3° de la manera de presentarse superficialmente, o sea, de su alteración.

1. Puntos anormales de concentraciones metálicas son los yacimientos metalíferos

Los yacimientos metalíferos no están igualmente repartidos en la superficie del globo. Hay puntos totalmente desprovistos de ellos y hay en cambio regiones en que se los encuentra, puédese decir, a cada paso. Lo cual nos induce a decir, o por lo menos, a creer que los yacimientos metalíferos son puntos de concentración anormal, anormalidad que, por cierto, debe estar regida por leyes geológicas; y es, en efecto, lo que sucede según luego veremos.

En nuestro artículo sobre los lavaderos auríferos del Puyo, que lo publicamos en la revista «La Corona de María», y luego fue reproducido, varias veces en diversos órganos de la prensa del país, habíamos anotado que en la superficie terrestre se encuentran, de un modo normal y en virtud de las leyes de la densidad, las combinaciones de aquellos cuerpos que la tienen poco elevada, como son el silicio, el calcio, el aluminio, etc.; y que si, a flor de tierra o a poca profundidad, se encuentran metales densos, cuales son, por ejemplo, el oro y el platino, su presencia debe ser explicada por el concurso de causas dinámicas que conmovieron profundamente las entrañas de la Tierra. Cuáles sean ellas, nos enseña la Geología con su claridad y profundidad habituales.

2. Dependencia estrecha entre estos y las rocas eruptivas

Humboldt fue el primero en notar la dependencia existente entre los yacimientos metalíferos y las rocas eruptivas, abandonando desde luego un añejo prejuicio de su maestro Werner. Y es, en efecto, en las regiones cruzadas por cordilleras, es decir, en las zonas más débiles de la corteza terrestre, en donde se han derramado los productos líquidos o viscosos, subidos hasta la superficie desde el interior del globo, y en donde se encuentran comúnmente los yacimientos metalíferos. De esta observación a la afirmación consiguiente de que existe una relación íntima, talvez de causa a efecto, entre las rocas eruptivas y las minas, no hay gran trecho. Aunque sí es la más poderosa, no es, con todo, la causa única.

3. Fenómenos actuales que mucho nos instruyen sobre el origen de los yacimientos

Cuatro son los fenómenos actuales que nos dan la clave del origen de las concentraciones mineras: el volcanismo, las fuentes termales, la sedimentación y, por último, aquel fenómeno que se conoce con el nombre de *metasomatismo* y que lo explicaremos cuando hablemos de la alteración de los filones metalíferos.

3.1 El volcanismo

El volcanismo con su serie de fenómenos eruptivos produce un doble grupo de efectos que pueden apellidarse superficiales los unos, y profundos los otros. Las rocas efusivas, conocidas con el nombre genérico de lava volcánica — basalto, andesita, traquita, etc. —; las bombas, cenizas, gases, etc., arrojados por los volcanes pertenecen simplemente a los efectos superficiales. ¿Por qué? Porque los cuerpos sus componentes son de poca densidad, y concebimos que en el globo terrestre la superposición de ellos debe haberse realizado en orden inverso de su densidad, de modo que los elementos poco densos, cuales son el aluminio, el silicio, el calcio, el potasio y sus compuestos deben hallarse en la superficie o muy cerca de ella. En cambio, los metales densos, tales como el oro y el platino, u otros de parecida densidad, deben hallarse concentrados en zonas más y más profundas. Que venga ahora una causa dinámica a alterar la quietud de la Tierra, si es tan potente que llegue a conmover hasta sus zonas profundas, es muy claro que entonces removidos de sus niveles de equilibrio natural y levantados hasta la superficie, van a cristalizar allí si no han cristalizado ya antes en sus yacimientos originales. Esas causas dinámicas son las que han producido simultáneamente el plegamiento de la corteza terrestre, o sea el levantamiento de los Andes, de los Pirineos, de los Alpes, de los Himalayas, etc… y los fenómenos eruptivos ya superficiales, ya profundos. Sin embargo, una explicación así escueta y simple, sería totalmente trunca; para que sea completa es necesario añadir que los fenómenos de metalización filoniana se realizan con la intervención esencial de dos factores más, la presión y la reacción múltiple de los metaloides llamados mineralizadores[7].

Muy luego ampliaremos estas nociones.

3.2 Las fuentes termales

Un fenómeno conexo con el volcanismo y con los plegamientos y sus accidentes tectónicos, como las fallas, son las aguas termales. Cuando éstas se hallan en el vecindario de un volcán moderno o antiguo, las mismas aguas superficiales – las de lluvia, por ejemplo – son las que descienden a lo largo de una falla o grieta a niveles profundos y allí adquieren una temperatura elevada; luego, cargadas de soluciones metalíferas, van a resurgir en otros niveles y en otras zonas en forma de manantiales tranquilos o saltantes. Pero cuando el volcanismo no existe, hay que poner en otra causa el origen de las aguas termales. Bien sea que el granito, al ser disuelto en las zonas profundas del Globo, produzca abundantes aguas, según lo demuestran las experiencias de M. A. Gauthier, bien sea que en esas zonas profundas existan depósitos de aguas aprisionadas y bajo enorme presión, de uno u otro modo, el origen de ellas, es decir, de las fuentes termales, no son las aguas superficiales, sino éstas que acabamos de nombrar y que el gran geólogo austriaco Suess apellida juveniles, las que viniendo de esas zonas profundas y abriéndose un sendero a través de grietas tectónicas o fallas, va a depositar en ellas los metales que los tomó, al paso, de las fumarolas del camino. A estos minerales concentrados en una falla, y que tienen por origen las aguas termales se los llama minerales de filón. Filón, es pues, originariamente una falla, más tarde cerrada por concentraciones metalíferas de origen acuoso-fumaroliano.

[7] Tales son, el cloro, azufre, fósforo, boro, arsénico, carbono. El agua a elevada temperatura y bajo fuerte presión es asimilable a un mineralizador enérgico.

3.3 La sedimentación

La sedimentación – tercer fenómeno contemporáneo al que aludimos hace poco –, es también causa y origen de acumulaciones metalíferas. Bajo la acción combinada de los agentes, meteorológicos de destrucción, a los que caracterizaba enérgicamente Alberto de Lapparent llamándolos sepultureros del Globo, trozos de roca arrancados a las cordilleras y arrastrados por los torrentes, van a depositarse en valles y llanuras según el orden decreciente de la densidad del material que los compone. A los materiales de aluvión que se van depositando en los cauces de los ríos y en el fondo de los lagos, los llamaremos materiales de sedimentación continental para distinguirlos de los otros que se depositan en el seno de los mares, y que son de sedimentación marina. Ésta, como aquella, puede producir acumulaciones metalíferas por un doble camino, uno mecánico y otro químico; el primero produce los aluviones ricos en oro y platino; el segundo enriquece aún más el tesoro de los filones metalíferos mediante soluciones y precipitaciones de un metal dado y cuyo proceso lo explicamos en un artículo anterior[8].

3.4 El metasomatismo

El cuarto grupo de fenómenos, comprendido con el vocablo de metasomatismo, hallará un sitio de explicación más apropiado cuando muy luego hablemos de la presencia de los minerales a flor de tierra, o sea del aspecto que toman sus alteraciones superficiales. Son un grupo de fenómenos que provocan alteraciones superficiales o profundas en las substancias primitivas; que las disuelven, las substituyen con otras mediante reacciones químicas diversas, pero todas ellas ocasionadas por las aguas de circulación interna o externa.

4. División de las rocas en dos grupos esencialmente diferentes
Repercusión de esta clasificación en los yacimientos

Toda clasificación de los yacimientos metalíferos para ser racional, deberá no perder de vista las causas de ellos. A una clase pertenecerán, pues, aquellos que tengan íntima relación con las rocas eruptivas; una segunda deberán formar los filones; y como los fenómenos de metasomatismo y sedimentación están ligados íntimamente entre sí, los provocados por ellos formarán un tercer grupo de yacimientos. Vamos, pues, a explicarlos por su orden.

[8] Los lavaderos auríferos del Puyo.

Dos son las grandes divisiones dentro de las cuales podemos encerrar todas las rocas: 1° el grupo alcalino del cual es el tipo característico el granito, y que piden previamente para su solidificación o cristalización no sólo una fusión ígnea de los materiales componentes de la roca, sino también el concurso de una presión elevada y de vapores acuosos a alta temperatura cargados de carbonatos alcalinos y de otras substancias mineralizadoras[9]; 2° el grupo básico, del cual es un ejemplo familiar, como roca efusiva el basalto, y mejor que él, las rocas apellidadas peridotitas. Éstas para su cristalización no exigen el concurso ni de la presión ni el de agentes mineralizadores. Tal división, fuerza es decirlo, en dos grupos netamente distintos y como separados entre sí por una muralla infranqueable, no es sino la de dos términos extremos de toda una serie de rocas que han cristalizado en condiciones bien determinadas y de tal suerte que una de ellas más se acerca al uno que al otro; pero en la naturaleza toda la serie es continua y se puede pasar de la serie alcalina a la serie básica por una gradería de pendiente insensible. Así y todo, es necesario conservar tal división «como economía del pensamiento», para emplear una expresión muy sabia del gran polígrafo francés Pierre Duhem.

Lo más interesante en ella es que los yacimientos metalíferos van también a bifurcarse en dos ramas distintas, como efectos, conexos de la división de las rocas en alcalinas y básicas.

5. Fumarolas, filones, inclusiones, segregaciones

Llamemos fumarolas a las emanaciones de vapor de agua, a temperatura elevada y cargadas de metaloides mineralizadores. Naciendo de las zonas profundas, en las que ponemos su origen, después de recorrer grietas, fallas, cavidades internas, y después de cargarse con metales que fueron disueltos por aquellos agentes *fumarolianos*, van a ganar niveles más o menos superiores y allí precipitar esos metales traídos de la profundidad, dejando incrustaciones metalíferas en forma de filones y concentraciones. De estos es el mercurio que en forma de sulfuro puede alejarse gran trecho del magma metalúrgico que le dio origen e ir a precipitarse y condensarse en los poros y grietas de las rocas sedimentarias o de metamorfismo. Hay otros metales, el estaño, por ejemplo, que se condensan no lejos del baño de fusión del cual nacieron. Como las fumarolas son propias de las rocas ácidas en el vecindario de ellas se encontrarán los minerales que pueden entrar en combinación con los reactivos mineralizadores de que hicimos antes mención. Cuáles sean estos metales lo veremos más tarde.

---

[9] Las rocas de este grupo tienen un tanto por ciento elevado de sílice, de potasa y de soda; en cambio la proporción de óxidos de hierro y de magnesia es muy baja.

Tratemos ahora del grupo de rocas básicas y tomemos como ejemplo típico una peridotita. En éstas predomina el elemento ferromagnesiano cristalizado en forma de olivino, anfíbol, piroxeno y magnetita titanífera. Son muy pobres en álcalis; la potasa y la soda apenas llegan a la mínima proporción de un 2 por ciento, obteniendo, por el contrario, la magnesia y los óxidos de hierro una proporción muy elevada, hasta el 40 por ciento. Son también mucho más pobres en alúmina y sílice que las rocas alcalinas. Para su consolidación no han intervenido los agentes hidrotermales; su cristalización se ha verificado por vía seca, por enfriamiento paulatino del baño de fusión. Los elementos que allí se encuentran no son, pues traídos de lo lejos, ni de cuerpos extraños; pertenecen a la roca básica como elementos integrantes e íntimos de ella. Su consolidación tampoco exige como agente esencial la presión; hay en efecto rocas granosas[10] básicas que han cristalizado junto con las lavas efusivas y al aire libre. En ellas los metales se encuentran incluidos dentro de la masa rocosa y por esto se dice que se hallan formando yacimientos de inclusión. Cuando, por causas que ignoramos, esos metales han llegado a formar concentraciones especiales en puntos privilegiados de la roca, se dice que forman yacimientos de segregación.

Al afirmar que no han intervenido en estas rocas elementos mineralizadores, debemos hacer una excepción del azufre, agente común de reacción tanto de las rocas alcalinas como de las básicas, y bajo cuya acción, minerales sulfurados han podido concentrarse en la periferia e ir un poco más lejos llevando emanaciones metalíferas y dejando impregnaciones de ellas en las esquistas cristalinas, manto exterior de aquellas rocas básicas, hasta formar acumulaciones importantes. Así han podido crearse segregaciones de platino, hierro, níquel, cobalto, cromo, manganeso, titanio y vanadio[11]. M. Vogt ha observado que cuando el magma[12] básico se ha individualizado formando dos clases de rocas y tales que en la primera predomina el elemento magnesiano y en la segunda el elemento alúmino-calcáreo, en el primer caso hay segregaciones metalíferas de cromo, platino, níquel y cobalto; en el segundo de titanio. El hierro puede hallarse en el magma magnesiano como en el alúmino-calcáreo.

6. Agrupación natural de los metales según los yacimientos

Hechas estas observaciones, veamos ahora cómo se asocian los minerales entre sí y qué yacimientos forman.

1° Los metales insolubles y prácticamente refractarios a toda combinación, como el platino, el paladio, el iridio, y el oro, forman yacimientos de inclusión al estado nativo en las rocas básicas.

2° Los metales que no tienen afinidad con los cuerpos mineralizadores y, en combinación con el oxígeno, dan óxidos neutros o ácidos, como el hierro de la magnetita – llamada vulgarmente entre nosotros arenilla – el cromo, el níquel, el cobalto, el manganeso, el titanio y el vanadio, constituyen yacimientos de inclusión en forma de óxidos en las rocas básicas.

---

[10] Es sabido que las rocas de estructura granosa, como el granito, la diorita, etc., se han formado en las zonas profundas del Globo, por consiguiente, bajo enormes presiones. Se dice, que una roca es granosa cuando los cristales que la componen son visibles a simple vista y no microscópicos.

[11] A este respecto son notables las peridotitas de los Montes Urales que contienen platino hasta 23 gramos por tonelada, y las del Transvaal, en el África del Sur, productoras de los famosos diamantes del Cabo.

[12] Se designa con este nombre el baño líquido o viscoso en el interior del Globo y que, al solidificarse, da las diferentes rocas, alcalinas o básicas, que conocemos.

3° Los metales que no se combinan sino con los mineralizadores enérgicos – el cloro, el flúor, el azufre, etc. – y a una temperatura mayor que 500 grados, como son el estaño, el bismuto, el tungsteno, el zirconio, el uranio, el oro, forman yacimientos de inclusión, ya sea en su estado nativo, ya sea como óxido, e igualmente filones localizados en el inmediato vecindario de una roca eruptiva ácida.

4° Los metales que forman sulfuros dobles o persulfuros, solubles a una temperatura elevada y bajo presión, pero que fácilmente pueden volver a precipitarse aún a 100 grados de temperatura, tales como el cobre, el plomo, el zinc, el hierro, el cobalto, la plata, el mercurio, forman yacimientos sulfurados de origen hidrotermal, en los que es posible encontrar igualmente, como mineral asociado, el arsénico. Pueden asimismo estos metales formar filones.

5° Los metales que son débilmente solubles a la temperatura ordinaria, que forman combinaciones de óxidos básicos; como son el calcio, el estroncio, el magnesio, el bario, se encuentran en forma de ganga filoniana.

6° Los metales que a la temperatura ordinaria forman sales solubles, se encuentran en yacimientos sedimentarios producidos por la evaporación de las aguas marinas; tales son el potasio, el sodio, el magnesio, etc[13].

El estudio de la dependencia de nuestros yacimientos metalíferos ecuatorianos con las rocas que los rodean o los incluyen está aún por hacerse. Lo poco que sabemos al respecto nos induce a afirmar que predominando en casi toda la cordillera ecuatoriana las rocas andesíticas, los yacimientos metalíferos deben estar en estrecha conexión con las dioritas y las porfiritas dioríticas, ambas rocas con tendencia al predominio del elemento básico y empobrecimiento de sílice y potasa, es decir, rocas débilmente alcalinas.

[13] Confer. La Science Géologique — ses Méthodes — ses Résultats — ses Problèmes — son Histoire par L. Launay, pag. 612 et passim.

III. — CARACTERES EXTRÍNSECOS DE LA ALTERACIÓN DE LOS YACIMIENTOS METALÍFEROS

Aún para los profanos en Geología, son fenómenos de fácil observación los que se refieren a la alteración de las rocas provocada por los agentes denominados meteorológicos, entre los que tiene puesto de honor el agua como agente mecánico y químico de erosión.

1. El nivel hidrostático

La de la lluvia – lo sabemos todos – al caer sobre la tierra se divide en tres partes: la primera fluye en el suelo y va creando las corrientes externas en forma de torrentes, riachuelos, ríos; la segunda se evapora y va a reconstituir nuevas nubes; la tercera empapa el suelo y le penetra llenando todos los vacíos que encuentra a su paso. Esta última, apellidada agua de *circulación interna*, en virtud de la gravedad tiende a descender a niveles más y más bajos, descenso que encuentra un límite en el *nivel hidrostático*. Es también un hecho constante que una perforación algo profunda del suelo, en cualquier región del Globo, topa siempre con un nivel de agua. Aquí a cuatro metros de profundidad, allá a diez, más lejos a veinte, acullá al nivel del suelo, en todo caso el *agua subterránea de circulación interna* forma una línea continua que va reproduciendo groseramente el perfil topográfico de la región. Ley es ésta que no sufre excepción sino cuando forman el suelo y el subsuelo capas de arcilla que alternan con estratos de arena, de margas, de calizas, etc., porque entonces la línea del agua subterránea será la de la capa de arcilla o capas de arcilla. El nivel del agua subterránea, al que Daubreé dio el nombre de *nivel freático*[14] durante la época de las lluvias puede llegar a confundirse con el de la superficie, pero durante las grandes sequías puede bajar muchos metros con respecto a ella. Por definición, damos el nombre de *nivel hidrostático* a la línea de agua, en el interior del suelo, durante las grandes sequías, cuando durante algunos meses ha cesado de llover. En las regiones tropicales el nivel hidrostático se confunde con el de la superficie: en los Andes se halla generalmente a una profundidad considerable. El nivel de los ríos y riachuelos que jamás se secan, en sus propios sitios, se confunde con el *nivel hidrostático*.

2. Cuatro zonas importantes

La comprensión exacta de lo que es él, nos va a facilitar la explicación de las alteraciones de los yacimientos metalíferos. Imaginemos un pozo, o una perforación algo profunda y tratemos de averiguar qué suerte de zonas vamos a encontrar al descender por él. Desde luego, la primera capa, ciertamente muy delgada será la capa de *humus* o tierra vegetal. En el artículo primero tuvimos ocasión de explicar lo que era el *humus* y qué componentes tenía.

[14] Del griego φρέαρ (phrear) que significa *pozo*, porque las perforaciones de los pozos artesianos, para alcanzar el nivel del agua, deben llegar hasta el nivel hidrostático.

2.1 La zona de oxidación

La segunda capa o zona es el teatro de los fenómenos de oxidación. Rica en oxígeno, la caracterizan la superoxidación del hierro y, cuando la región es metalífera, la presencia de metales nativos, oxidados, carbonatados o clorurados. Allí, en esa segunda zona, el agua saturada de oxígeno, de anhídrido carbónico, muchas veces, de sales orgánicas, ataca enérgicamente a las bases y álcalis de las rocas, las disuelve y deja finalmente sólo los componentes insolubles, la sílice, la alúmina. Esta zona, superior en elevación al nivel hidrostático, se apellida de *oxidación*.

2.2 La zona de cementación

La tercera, teatro de reacciones químicas complejas, es la *zona de cementación y de levigación* de la cal, y en la que, gracias a un proceso químico natural, se han precipitado los metales de la zona anterior, llegando de este modo a dar mayor riqueza a los filones metalíferos radicados en ella. A grandes rasgos describiremos en un artículo posterior las etapas de este proceso. En la tercera zona, las rocas calcáreas y las magnesianas, perdido por aquellas el carbonato de cal, y por éstas, aunque en menor grado, la magnesia, van a recibir en cambio una contribución de sílice que vendrá a llenar los poros y vacíos dejados por aquellas bases disueltas. He aquí por qué las aguas de los manantiales brotados al pie de ellas, son casi uniformemente *duras* o calcáreas, y lo son en grado tanto mayor cuanto más largo es el trayecto recorrido desde su origen, y cuanto más calcárea es la región regada por las lluvias. Para que las aguas de un manantial sean potables es preciso que broten al pie de un macizo granítico, ya que la roca de este nombre es casi desprovista de bases; y no al pie de terrenos cretáceos, o de rocas básicas, como son la andesita y el basalto, o de sus productos alterados. He aquí igualmente por qué las aguas del «Sena», que en Quito se nos ofrece como potables, son y serán siempre *duras*. El nivel hidrostático, está incluido en la zona de cementación la que desciende aún un poco más.

2.3 La zona inalterada

La cuarta, la que se halla al abrigo de todas las reacciones, inferior en altura al nivel hidrostático, es la zona inalterada. En ella los cristales componentes de las rocas se han conservado intactos de tal suerte que, sometidos a un análisis químico, podrían dar la proporción exacta de los elementos que las componen: advertencia importante para quienes deseen distinguir desde donde principia la cuarta zona al hacer una perforación.

3. Las minas enclavadas en terrenos inertes y calcáreos; reacciones en ambos casos Aplicación de las leyes encontradas a los yacimientos de minerales sulfurados

Os invito a entrar ahora en el dédalo de los fenómenos de *metasomatismo* relacionados con los yacimientos metalíferos. Consideremos dos eventualidades posibles: Primero suponemos que los yacimientos se hallan en contacto con rocas *inertes*, queremos decir, sin gran afinidad para las reacciones químicas que se verifican en el suelo y en el subsuelo: las esquistas, las areniscas y las rocas cristalinas. Segundo suponemos que los yacimientos están enclavados en *terrenos calizos*. A fin de no perdernos en consideraciones inútiles para nuestro objeto, vamos a tomar como teatro de aquellas reacciones los *yacimientos metalíferos sulfurados* que, por otra parte, son los más generales y también propios de nuestro país.

He aquí lo que el insigne profesor de la Escuela de Minas de París, M. L. de Launay, dice al respecto:

> "Si es inerte el medio ambiente que rodea a la mezcla metalífera sulfurada, la alteración atacará, en primer lugar, a los sulfuros de hierro y de cobre[15] y los transformará en sulfatos. Muy luego, el primero va a precipitarse de nuevo en forma de sesquióxido de hierro, y el segundo a desaparecer. De esta suerte, en los afloramientos de las minas, se verán grandes masas de óxido de hierro conocidas por los mineros con el nombre de "sombreros de hierro" y en los cuales al mismo tiempo que se presentan casi inalterados los sulfatos insolubles – los de plomo – se hace notable la ausencia de aquellos metales, el cobre, por ejemplo, cuyos sulfatos son solubles. Estamos en la *zona de oxidación*. Más abajo, en la de *cementación*, notaremos algunas veces un enriquecimiento característico del cobre, de la plata y del oro, dado caso que en la zona superior existan yacimientos sulfurados de estos metales. Es entonces cuando el minero puede topar con riquísimas concentraciones de esos tres metales".

> "Si los sulfuros complejos antedichos están enclavados en terrenos calizos, el hierro, el zinc, el cobre, el plomo formarán o podrán formar carbonatos, pero cada uno con resultados diferentes; porque mientras el carbonato de hierro tiende naturalmente a dar sesquióxido, los de zinc y de cobre, en virtud de su carácter estable, no darán algún producto alterado y permanecerán visibles en los afloramientos metalíferos. Gracias a sus débiles afinidades, el carbonato de plomo se presenta rara vez. El óxido de hierro y la calamina roja, íntimamente mezclados, constituirán los rasgos salientes de la zona de *oxidación*: la de *cementación*, entretanto, contendrá carbonato de hierro y calamina blanca[16]. En niveles más bajos volverá el minero a encontrar los tres sulfuros característicos: blenda, pirita y galena. En cambio, no hallará en ellos concentraciones ricas ni de oro, ni de plata, ni de cobre porque las soluciones de estos metales fueron ya detenidas en la *zona de cementación*".

La ley enunciada resulta tanto más exacta cuanto mayor ha sido el tiempo durante el cual la erosión ha atacado a los yacimientos metalíferos y ha ejercido sobre ellos su poder destructivo. Las observaciones, de las que ella arranca su valor teórico y práctico, nos muestran, que los metales menos solubles, menos alterables – y de esta clase son los metales preciosos, el oro, el platino – son al mismo tiempo los que mejor se concentran en la zona de cementación. Por donde verá el lector curioso cuánta utilidad e importancia tienen tanto los hechos consignados como la determinación positiva de las diferentes zonas para la *explotación racional* de los yacimientos metalíferos.

A título de ejemplo, vamos ahora a aplicar las leyes enunciadas a tres casos particulares relacionados con tres metales, los dos preciosos y de enorme utilidad el tercero.

---

[15] Conocidos en Mineralogía con los nombres de *pirita* a secas el primero y *calcopirita* el segundo. El lenguaje vulgar denomina *soroche* a uno y otro.

[16] En términos mineralógicos, al carbonato de hierro se le llama *siderosa*; al de plomo *cerusita*; al de zinc *calamina*; al de cobre *azurita* y *malaquita*.

4. El oro, la plata, el cobre

4.1 El oro

Hallándose el *oro* muy a menudo íntimamente asociado a la pirita de hierro, a la calcopirita y al mispiquel o hierro arsenical, los productos alterados de ellos nos harán conocer fácilmente la zona de oxidación gracias al color rojizo dejado en los afloramientos por la *hematita roja* (óxido de hierro), una que otra vez impregnada de arsénico.

Cuando la mezcla sulfurada es de hierro, la descomposición es casi total, y entonces en las zonas profundas se muestra visible una verdadera vegetación aurífera de cristales de oro en dimensiones notables, que inútilmente se los buscará, al menos en igual tamaño, en los filones primarios del nivel superior. Las aguas de la lluvia pueden ahora arrastrar el oro en ellas disuelto o concentrado, a los placeres y a los cauces de los ríos en donde el minero, si tiene espíritu observador, encontrará pepitas de dimensiones no ordinarias. Si, pues, tomando por rumbo los lavaderos auríferos puede uno dar, en término final, con el filón, recíprocamente, una vez conocido el sitio del filón alterado y destruido, puede llegar a descubrir los lavaderos productivos de concentración aurífera secundaria.

4.2 La plata

La plata, en sus yacimientos ordinarios, es compañera de tres sulfuros, de plomo, de cobre y de zinc, cuya alteración va igualmente a crear dos zonas características. La de oxidación, notablemente visible gracias a las arcillas rojizas cargadas de óxidos de hierro, contendrá óxidos de plata y *plata nativa*, a los que podrán hallarse asociados cloruros, yoduros y bromuros si han intervenido aguas salinas como agentes de alteración. No será un caso extraordinario si en esta misma zona hallamos tierras negras, cual el polvo de la lignita, color inconfundible del óxido de manganeso. De allí concluiremos la existencia de este metal en los mismos yacimientos. No es absolutamente necesario que los tres sulfuros se hallen totalmente alterados; bien puede suceder que en uno u otro sitio privilegiado se hayan conservado sin alteración.

Aquí, en la zona de cementación, el hierro y el zinc habrán desaparecido siquiera parcialmente. En cambio, encontraremos *la plata* concentrada en mayores proporciones por un doble motivo: por haberse precipitado en esta zona la que descendió disuelta por las aguas meteorológicas de la de *oxidación*, y por haber desaparecido los sulfuros de hierro y de zinc. En estado nativo un poco, la mayor parte de la plata estará combinada con el azufre y el antimonio: tendremos *plata negra y plata roja*[17].

[17] La Science Géologique por L. de Launay, Chap. X : La Géologie en action. Paris. Librairie Armand Colin. 1922.

4.3 El cobre

Colores azules y verdes en los afloramientos son los que nos revelan la zona de oxidación del *cobre*. Los sulfatos de este metal siendo compuestos muy solubles, los riachuelos que vienen de la zona de oxidación, bajarán trayendo aguas de colores vivos, azules y verdes, las que, si encuentran a su paso materias orgánicas, abandonarán el cobre disuelto que llevaban en su seno. Si el terreno es calizo la zona de oxidación, sometida enérgicamente a los agentes meteorológicos, aparecerá rica en arcilla roja, elemento ordinario de la levigación de la cal, y en medio de ella no es el cobre nativo el que se hallará, sino sus carbonatos hidratados, la *azurita* y la *malaquita* con sus colores azul y verde de esmeralda inconfundibles.

Desaparecido parte del hierro y del azufre de la *calcopirita* en la *zona de oxidación*, la de *cementación contendrá cobre gris o negro* junto con carbonato de hierro (*la siderosa*) y también cristales de calcopirita, inalterados en su núcleo, pero transformados en sulfuro simple de cobre (*calcosina*) sus facetas exteriores[18].

5. Valor de las zonas

Por todo ello verá el lector la importancia que en el asunto minas juega el conocimiento del nivel hidrostático. El Profesor Leopoldo Michel no vacila en afirmar que la fijación, lo más exactamente posible, de este nivel es un asunto de alcance excepcional y que su conocimiento tiene un valor teórico y práctico de primer orden[19].

La persuasión de que mientras más profunda es una capa metalífera mayor riqueza mineral ella contiene, idea generalizada entre los mineros, en lo que acabamos de exponer encuentra su justificación y sus límites. Debemos decir con respecto a ella: una capa profunda es más rica que las capas superficiales, *siempre que se encuentre contenida en la zona de cementación*; si, por el contrario, ha bajado a un nivel inferior dejando arriba aquella zona, sería una grave ilusión buscar en esa capa concentraciones imaginarias.

6. Las minas que se deben explotar sin demora

Con las observaciones hasta aquí expuestas creemos haber señalado los caracteres salientes de los yacimientos metalíferos y de su presentación exterior al aire libre. Abrigamos la persuasión de que, con estos artículos de divulgación geológica, prestamos un servicio a nuestros compatriotas quienes tienen, todos absolutamente todos, la sagrada obligación de conocer las múltiples riquezas del país. Estas notas podrán servir de guía a su inteligente curiosidad.

No creemos que en los tiempos actuales de honda crisis económica nos hallemos los ecuatorianos en condiciones propicias para la explotación de tanta mina como el Creador ha repartido en todo el país; pero opinamos también por otra parte, que si esa riqueza no puede ser explotada en la actualidad por el Ecuador con elementos propios, sus autoridades no deben permitir que extranjeros afortunados vengan a aprovecharse de ellas, explotándolas en beneficio propio y de la nación o naciones de donde proceden.

---

[18] Géologie pratique por L. de Launay. Chap. II. Librairie Armand Colin. Paris, 1920.

[19] Etudes et Notes de Géologie appliquée. Lib. De Ch. Béranger. Paris 1922. Pág, 277.

Déjeselas estar tal cual están. Día vendrá en que los mismos ecuatorianos, mejorados los tiempos y con menos pesimistas orientaciones, podrán beneficiarlas para el incremento de la riqueza privada y pública de la nación.

Los yacimientos que sí son de fácil explotación son los de concentración secundaria, los lavaderos y los placeres. Para ello no se necesitan ni grandes capitales, ni costosas maquinarias, ni un tren de químicos, de subidos honorarios; pero, en compensación, es menester una gran dosis de *paciencia y perseverancia*, virtudes que, en nuestros compatriotas, poseen no muy subidos quilates. Es de temer, por lo tanto, que una empresa relativamente fácil cual es ésta, se vea condenada a un inevitable fracaso. Deber del Gobierno sería entonces estimular las iniciativas privadas facilitando a los particulares la denuncia, la posesión y la explotación de los lavaderos: impidiendo invasiones abusivas en terrenos ya cedidos y adjudicados a otros; no poniendo trabas de toda especie, como sucede hoy, sino más bien arrancando de raíz todos los obstáculos u óbices que quieran oponerse a la explotación racional de ellos.

El primer paso importante en este capital asunto es conocer las regiones mineras, hacer el recuento de los yacimientos metalíferos, establecer la estadística de ellos. *Un país está gravemente obligado siquiera a conocer sus tesoros*. El Ecuador ha vivido largos años como país esencialmente agrícola. No dudamos un instante que las condiciones de su suelo le den derecho para llamarse rico aún desde este punto de vista; pero sin mengua de su agricultura, el día de mañana – y ojalá no esté muy lejano – *son sus minas ya conocidas, ya ocultas, las que serán para él fuentes inagotables de riqueza*.

7. Quienes deben trabajar los Mapas Geológicos

Ahora bien, para conocerlas, para saber que el Ecuador puede ser minero como Méjico, como Chile, como Bolivia, es menester que existan sus *Mapas Geológicos*. Ellos son los únicos que pueden instruir a los ecuatorianos sobre la riqueza del subsuelo y ampliarnos el horizonte industrial con nuevas orientaciones y nuevos rumbos.

En nuestro concepto no son ya los militares a quienes debería encomendarse una misión cuyo cumplimiento sobrepujaría las posibilidades de una rápida ejecución: ya tienen más que suficiente tarea con la elaboración de los Mapas topográficos. La de los Mapas geológicos debería encomendarse a otra corporación distinta; a una de geólogos profesionales o de técnicos en la Geología. Desgraciadamente no vemos, hoy por hoy, quienes puedan ser llamados a una empresa tan ardua y erizada de tantas dificultades. Pero sí pueden presentarse unos cinco años más tarde, siempre que las Universidades del país, y especialmente la del Azuay que posee fondos propios para la creación de una Escuela de Minas, se empeñen en erigir en su seno cátedras de Geología y de asignaturas afines. Tanto sus profesores como los distinguidos alumnos de ellas, se hallarían entonces capacitados para tomar sobre sus hombros una empresa tan científica y tan necesaria.

P. Alberto D. Semanate, O. P.,
de la Sociedad Geológica de París.

